

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 31 005.6

**Anmeldetag:** 27. Juni 2001

**Anmelder/Inhaber:** Thyssen Laser-Technik GmbH,  
Aachen/DE

**Bezeichnung:** Laserroboter für Werkstückbearbeitung und  
Verfahren zur Werkstückbearbeitung mit einem  
Laserroboter

**Priorität:** 18.12.2000 DE 100 63 125.8  
18.12.2000 DE 200 21 369.5

**IPC:** B 23 K 26/10

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 17. Januar 2002  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Nietiedt

5

10

Laserroboter für Werkstückbearbeitung und Verfahren zur  
Werkstückbearbeitung mit einem Laserroboter

15 Die Erfindung bezieht sich auf einen Laserroboter für  
Werkstückbearbeitung, mit einer ersten Roboterachse, in deren  
Längsachse ein erster Strahlengang eines ersten Laserstrahls  
anzuordnen ist, der werkstückseitig in einen achsparallelen  
zweiten Strahlengang umlenkbar ist, und in der ein dritter  
20 Strahlengang eines zweiten Laserstrahls achsparallel zum er-  
sten Strahlengang des ersten Laserstrahls anzuordnen ist, und  
mit einer Fokussieroptik, die in einer der ersten Roboterach-  
se nachgeordneten Roboterhand angeordnet ist und von der die  
Laserstrahlen auf das Werkstück gelangen.

25

Ein Laserroboter mit den vorgenannten Merkmalen ist aus  
der EP-A-0 901 875 bekannt. Der erste Laserarbeitsstrahl des  
bekannten Roboters wird einer Ausbaueinheit zugeleitet, die  
die Aufgabe hat, die erste Laserstrahlung aus dem ersten  
30 Strahlengang in den dazu achsparallelen zweiten Strahlengang  
umzulenken. Bei dem bekannten Laserroboter kann ein dritter  
Strahlengang eines zweiten Laserarbeitsstrahls ausgebildet  
werden und zwar so, daß er parallel zum ersten Strahlengang  
des ersten Laserarbeitsstrahls anzuordnen ist. Das ist jedoch  
35 nur dann möglich, wenn die Ausbaueinheit zur Umlenkung des  
ersten Laserarbeitsstrahls ausgebaut ist. Denn die Ausbauein-

heit ragt in den zweiten bzw. auch in den dritten Strahlengang hinein, weil diese beiden vorgenannten Strahlengänge miteinander fluchten. Wenn also mit unterschiedlicher Laserarbeitsstrahlung gearbeitet werden soll, beispielsweise mit  
5 einer CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung oder einer Diodenlaserstrahlung, muß ein Umbau der Roboterachse erfolgen, bei der die Ausbaueinheit entweder eingebaut oder ausgebaut wird. Das ist aufwendig und bedarf anschließender Justierung. Außerdem kann nicht mit zwei Laserstrahlen gleichzeitig gearbeitet werden.

10

Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Laserroboter mit den eingangs genannten Merkmalen so weiterzubilden, daß die Werkstückbearbeitung mit ihm ohne Umbauten durchgeführt werden kann, insbesondere wenn er für das  
15 gleichzeitige Bearbeiten mit zwei Laserstrahlen eingesetzt werden soll.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß in einem der Strahlengänge des ersten Laserstrahls eine optische Strahlenkombinationseinrichtung beider gleichzeitig wirksamer Laserstrahlen angeordnet ist, von der aus beide Laserstrahlen  
20 gleichzeitig achsparallel oder gleichachsig in die Roboterhand zu der Fokussieroptik gelangen, und daß beide Laserstrahlen gleichzeitig achsparallel, gleichachsig oder mittels einer gleichachstigen Laserstrahlen in achsparallele Laserstrahlen trennenden optischen Strahlentrenneinrichtung auf  
25 das Werkstück gelangen.

Für die Erfindung ist von Bedeutung, daß die Werkstückbearbeitung mittels des Laserroboters unter gleichzeitiger  
30 Anwendung zweier Laserstrahlen erfolgen kann. Beide Laserstrahlen werden im Inneren des Roboters und insbesondere im Inneren einer Roboterachse sowie einer nachgeordneten Roboterhand geführt, so daß der Roboter ohne Außenanbauten und  
35 Außenanlenkungen insbesondere im Roboterhandbereich auskommt, die sonst die Bewegungsfreiheit und den Einsatzbereich des

Roboters einschränken würden. In dieser Hinsicht ist es vorteilhaft, die Laserstrahlen in einer Roboterachse zu kombinieren und sie achsparallel oder gleichachsig in die Roboterhand weiterzuleiten, insbesondere zu der Fokussieroptik. Von dieser aus kann dann für die gewünschte Anwendung der Laserstrahlen am Werkzeug gesorgt werden, indem die Laserstrahlen gleichzeitig achsparallel, gleichachsig oder voneinander getrennt angewendet werden, wobei bedarfsweise eine Strahlentrenneinrichtung angewendet wird. Mit dem Laserroboter ist es möglich, die unterschiedlichsten Bearbeitungs- und Vermessungsaufgaben auszuführen, auch kombiniert. Es ist kein Umbau des Roboters nötig, um mit den beiden Laserstrahlen gleichzeitig oder aufeinanderfolgend in einem Arbeitsgang arbeiten zu können. Auch die Ankopplungen der Laser an den Roboter brauchen nicht geändert zu werden.

Der Laserroboter ist für eine vorteilhafte bauliche Ausgestaltung insbesondere dann geeignet, wenn der zweite Strahlengang und ein Ausgangs der Strahlenkombinationsoptik beginnender vierter, beiden Laserstrahlen gemeinsamer Strahlengang in einer von der Längsachse der Roboterachse und von einer dazu senkrechten Schwenkachse einer weiteren Roboterachse der Roboterhand gebildeten Ebene mit einem vorbestimmten Abstand vom ersten Strahlengang angeordnet sind. Infolge des Abstands des gemeinsamen Strahlengangs von der Längsachse der Roboterachse ist es möglich, die weitere Roboterachse platzsparend und vor allem im Hinblick auf die Fokussieroptik vorteilhaft auszubilden, da der gemeinsame Strahlengang soweit wie nötig peripher angeordnet und der zentrale Raum dadurch für Einbauten frei ist, beispielsweise für eine Fokussieroptik und/oder eine weitere Achse.

In Weiterbildung der vorbeschriebenen Ausgestaltung kann es vorteilhaft sein, den Laserroboter so auszubilden, daß die weitere Roboterachse einen mit ihrer Schwenkachse gleichachsigen Spiegel hat, mit dem die beiden Laserstrahlen gleich-

zeitig der Fokussieroptik zuzuleiten sind, der die Strahlentrenneinrichtung nachgeordnet ist.

Der Laserroboter und insbesondere eine an der ersten Roboterachse nachfolgend angeordnete Roboterhand können zweckmäßigerweise so ausgebildet werden, daß die Fokussieroptik gleichachsig mit der Längsachse der ersten Roboterachse in der weiteren Roboterachse oder in einer Drehachse der weiteren Roboterachse angeordnet ist.

10

Es ist zu bevorzugen, den Laserroboter so auszubilden, daß die optische Strahlentrenneinrichtung ein Trennelement hat, das von der Laserstrahlung eines der Laserstrahlen durchstrahlbar ist und das die Laserstrahlung des anderen der Laserstrahlen reflektiert. Mit dem Trennelement kann beispielsweise das unterschiedliche Reflektionsverhalten bestimmter Materialien für Laserstrahlen unterschiedlicher Wellenlängen ausgenutzt werden. Während die eine Laserstrahlung eine Wellenlänge aufweist, die das Trennelement durchstrahlt, also nicht reflektiert wird, wird die andere Laserstrahlung reflektiert, weil das Trennelement für ihre Wellenlänge nicht durchstrahlbar ist.

20

Vorteilhaft ist es, wenn das Trennelement eine im Winkel zu den Laserstrahlen angeordnete Trennplatte ist. Die Herstellbarkeit ist einfach und es können marktübliche Produkte zumindest als Ausgangsprodukt für die zum Einsatz kommenden Platten eingesetzt werden.

25

Um die Strahlentrennung für übliche Bearbeitungen vorteilhaft einsetzen zu können, wird der Laserroboter so ausgebildet, daß dem Trennelement eine Umlenkplatte optisch nachgeordnet ist, von der aus ein abgetrennter Laserstrahl dem Werkstück zuleitbar ist. Die Umlenkplatte kann beispielsweise so angeordnet werden, daß beide Laserstrahlen mit Abstand parallel auf das Werkstück einwirken.

30

35

Um den Einsatzbereich des Laserroboters im vorbeschriebenen Sinn zu verbessern, wird er so ausgebildet, daß die Umlenkplatte einstellbaren Abstand zum Trennelement aufweist und/oder daß das Trennelement gemeinsam mit der Umlenkplatte um eine von einer optisch vorgeordneten Fokussieroptik bestimmte Drehachse drehbar ist. Eine Einstellung des Abstands zwischen der Umlenkplatte und dem Trennelement und ein gemeinsames Verdrehen des Trennelements und der Umlenkplatte lassen sich einzeln und in Kombination miteinander dazu benutzen, den Laserroboter an die jeweils gegebene Arbeitsaufgabe anzupassen.

Eine Ausgestaltungsmöglichkeit des Laserroboters ist dahingehend gegeben, daß die optische Strahlentrenneinrichtung der Fokussieroptik optisch vorgeordnet ist, die für einen der Strahlen eine Fokussierlinse und für den anderen einen Fokussierspiegel aufweist. Infolgedessen kann die Fokussierung der Laserstrahlen unterschiedlich vorgenommen werden, indem die Fokussierlinse einerseits und der Fokussierspiegel andererseits unterschiedlich bemessen werden.

Der vorstehend beschriebene Laserroboter kann dahingehend ausgestaltet werden, daß der Fokussierspiegel zugleich ein Umlenkteil der Strahlentrenneinrichtung ist. Es ergibt sich eine entsprechende bauliche Vereinfachung des Roboters. Eine derartige Vereinfachung ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn die Strahlentrenneinrichtung in der Nähe des Strahlenaustritts der Roboterhand angeordnet ist, da hier die schlankeste Ausbildung aller Bauteile angestrebt wird, um den räumlichen Einsatzbereich des Roboters so wenig wie möglich zu beschränken.

Der Laserroboter kann so ausgebildet werden, daß beide Laserstrahlen Laserarbeitsstrahlen mit unterschiedlichen Strahlungsparametern sind. Mit zwei gleichzeitig vorhandenen

oder taktweise in einem Arbeitsgang eingesetzten Laserarbeitsstrahlen können unterschiedliche Bearbeitungen durchgeführt werden, beispielsweise ein Schweißverfahren und ein Schneidverfahren.

5

Die Erfindung bezieht sich auch auf ein Verfahren zur Werkstückbearbeitung mit einem Laserroboter, dem in einer ersten Roboterachse ein erster Strahlengang eines ersten Laserarbeitsstrahls erster Strahlungsparameter ausgebildet wird, und mit dem ein dem ersten Strahlengang achsparalleler zweiter Laserarbeitsstrahl zweiter Strahlungsparameter anwendbar ist.

Um dieses Verfahren im Sinne der oben genannten Aufgabenstellung zu verbessern, wird es so durchgeführt, daß beide Laserarbeitsstrahlen in der Roboterachse zu einem gemeinsamen Strahlengang gleichachsig oder achsparallel kombiniert werden, und daß die kombinierten Laserarbeitsstrahlen das Werkstück an derselben oder an voneinander beabstandeten Bearbeitungsstellen unter Anwendung der unterschiedlichen Strahlungsparameter in einem Arbeitsgang gleichzeitig bearbeiten. Für das Verfahren ist von besonderer Bedeutung, daß sich ein breites Bearbeitungsspektrum ergibt, bedingt durch die Gleichzeitigkeit der Anwendung zweier Laserarbeitsstrahlen unterschiedlicher Strahlungsparameter. Dabei können die Laserarbeitsstrahlen an derselben oder an voneinander beabstandeten Bearbeitungsstellen angewendet werden. Unterschiedliche Bearbeitungsgeometrien und/oder unterschiedliche Werkstoffkombinationen können optimal bearbeitet werden. Die Bearbeitung kann geschwindigkeitsoptimiert erfolgen.

Für bestimmte Bearbeitungsaufgaben ist es zweckmäßig, wenn die beiden Laserarbeitsstrahlen gemeinsam fokussiert werden. Das gilt dann, wenn der Fokus beider Laserarbeitsstrahlen gleich sein kann, da an derselben Bearbeitungsstelle bearbeitet wird oder an unterschiedlichen Bearbeitungsstellen

bearbeitet wird, die jedoch zum Beispiel dieselbe Distanz zur Fokussieroptik haben.

Bevorzugterweise kann auch so verfahren werden, daß die  
5 beiden Laserarbeitsstrahlen in einer der ersten Roboterachse  
nachgeordneten Roboterhand voneinander getrennt werden. In-  
folgedessen wird die gemeinsame Strahlführung, die mit einem  
geringen gemeinsamen Querschnitt auskommt, bis in die Robo-  
terhand beibehalten und damit bis dorthin, von wo aus die Ab-  
10 gabe der Laserarbeitsstrahlen an das Werkstück erfolgt.

Ein weiteres Verfahren ist dahingehend möglich, daß der  
Abstand zweier voneinander getrennter Laserarbeitsstrahlen  
dem jeweils erforderlichen Abstand der Bearbeitungsstellen  
15 entsprechend einstellbar ist. Wenn der Abstand der Laserar-  
beitsstrahlen gleich dem Abstand der Bearbeitungsstellen ist,  
so ergibt sich insbesondere für einander parallele Laserar-  
beitsstrahlen eine augenfällig einfache Einstellbarkeit für  
den Abstand der Bearbeitungsstellen mit Hilfe der den Abstand  
20 der Laserarbeitsstrahlen zueinander beeinflussenden Bauteile  
des Laserroboters.

Wenn Laserarbeitsstrahlen mit Laserstrahlung unter-  
schiedlicher Wellenlängen angewendet werden, lassen sich ins-  
25 besondere die Strahlenkombinations- und die Strahlentrennein-  
richtung mit einfachen Bauteilen erstellen, die für die je-  
weiligen Wellenlängen bewährt sind. Darüber hinaus kann jeder  
Laserarbeitsstrahl für eine besonderes, vom Bearbeitungsver-  
fahren des jeweils anderen Laserarbeitsstrahls abweichendes  
30 Bearbeitungsverfahren eingesetzt werden, jeweils entsprechend  
den angewendeten Wellenlängen.

So ist es beispielsweise möglich, zeitweilig sowohl zu  
schweißen, als auch zu schneiden, wenn ein Laserarbeitsstrahl  
35 eines Nd:YAG-Lasers und mit Abstand dazu gleichzeitig ein La-  
serarbeitsstrahl eines CO<sub>2</sub>-Lasers angewendet wird.



Für spezielle Bearbeitungsaufgaben eignet sich ein Verfahren, bei dem zwei Laserarbeitsstrahlen mit Laserstrahlung unterschiedlicher Wellenlänge an derselben Bearbeitungsstelle  
 5 in einem Arbeitsgang nacheinander und/oder ineinander schneiden und schweißen.

Die Erfindung wird anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen erläutert. Es zeigt:

10

Fig.1 eine schematische Darstellung eines Knickarmroboters,

15

Fig.2 eine Unteransicht einer Roboterachse, an der werkstückseitig zwei weitere Handachsen angeordnet sind, mit teilweisen Schnittdarstellungen,

Fig.3 eine vereinfachte Seitendarstellung der Roboterachse der Fig.2 mit Schnittdetails,

Fig.3a eine vergrößerte Detaildarstellung A der Fig.3

20

Fig.4,5 schematisierte Strahlengänge in Roboterachsen und

Fig.4a das Detail B der Fig.4, und

Fig.6 einen weiteren schematisierten Strahlengang eines Laserroboters mit Strahlentrenneinrichtung.

25

Der in Fig.1 schematisch dargestellte Knickarmroboter ist so ausgebildet, daß er in allen Richtungen kartesischer Koordinaten  $x, y$  und  $z$  die erforderlichen Bewegungen im Rahmen der Reichweiten seiner Achsen 37, 38, 39, 10, 35 und 36 ausführen kann. Sämtliche vorgenannten Achsen sind Drehachsen, deren  
 30 Drehverstellung durch Motorkraft erfolgt. Fig.2 zeigt schematisch die Anordnung eines Antriebsmotors 37 für die Roboterachse 10. Der Stellmotor 37 wird, wie auch die Stellmotoren der anderen Drehachsen, von einer nicht näher erläuterten Bahnsteuerung so beaufschlagt, daß er die gewünschten Achsenedrehbewegungen veranlaßt. Der Roboter soll für die 3-D-Bear-  
 35 beitung von Werkstücken mit Laserstrahlung eingesetzt werden,

wozu er eine spezielle Roboterhand hat, die in den Fig.2,3 dargestellt ist. Diese Roboterhand besteht im wesentlichen aus der roboterseitigen Roboterachse 10 und zwei baulich miteinander kombinierten Handachsen 35,36. Die Achse 36 ist mit Hilfe von Drehlagern 40 um ihre Längsachse drehbar, was durch den Doppelpfeil 36' in Fig.1 angedeutet ist. In dieser Achse 36 befindet sich eine Fokussieroptik 40, mit der zwei Laserarbeitsstrahlen 13,16 auf ein Werkstück fokussiert werden können. Die Handachse 35 ist um eine Schwenkachse 34 schwenkbar, die von einem Drehlager 42 gebildet ist. Die Doppelpfeile 35' in den Fig.1 und 3 kennzeichnen die infolgedessen vorhandene Drehverstellbarkeit der Handachse 35. Die Handachse 35 ist im übrigen fest von der Roboterachse 10 gehalten, die werkstückseitig eine Stirnwand 24 für diese Befestigung aufweist.

Die Roboterachse 10 besteht entsprechend den Fig.2,3 im wesentlichen aus einem ~~Stirnwand~~ Stirnwand 24 gegenüberliegenden Ende an ein Getriebegehäuse 44 des Motors 37 angebaut ist. Das Getriebegehäuse 44 hat Anbauflansche 45 für einen in Fig.1 schematisch dargestellten ersten Laser 46. Die von diesem Laser 46 erzeugte Laserstrahlung wird durch eine Laserstrahlungszuleitung 47 und einen in Fig.2 angedeuteten Strahlungseingang 48 in einen ersten Strahlengang 12 gebracht, der mit einer Längsachse 11 der Roboterachse 10 gleichachsig ist. Des weiteren ist ein nicht dargestellter zweiter Laser vorhanden, dessen Laserstrahlung mit einer weiteren Laserstrahlungszuleitung 49 in einen dritten Strahlengang 15 gebracht wird, der sich innerhalb des Rohrgehäuses 43 parallel zum ersten Strahlengang 12 befindet. Während der erste Laser 46 beispielsweise ein CO<sub>2</sub>-Laser ist, ist der zweite Laser beispielsweise ein Nd:YAG-Laser, so daß die beiden von den Lasern erzeugten Laserarbeitsstrahlen 13,16 entsprechend unterschiedliche Wellenlängen haben. Der Laser 46 ist beispielsweise mit einer Leistung von 300 Watt bei einer Strahlqualität von  $k = 0,7$  ausgestattet, während der nicht dargestellte Nd:YAG-Laser ei-

③ Rohrgehäuse 43, das an seinem der



ne Leistung von 200 Watt hat. Die Zuleitung der Laserstrahlung des zweiten Laserarbeitsstrahls 16 erfolgt beispielsweise mit einer flexiblen Zuleitung in Gestalt einer Glasfaserleitung zu einem Anschlußelement 50 oder auch zu dem Getriebegehäuse 44.

Damit die Laserarbeitsstrahlen 13,16 einem Werkstück 18 in gewünschter Weise raumsparend zugeführt werden können, müssen sie in vorbestimmter Weise kombiniert werden können. Diese Kombination erfolgt in erster Linie mit einer der Stirnwand 24 nahen Laserstrahloptik, die in einem Gehäuse 22 untergebracht ist. Das Gehäuse 22 ist an der Stirnwand 24 mit Befestigungsstellen 22' befestigt und hat hier einen Strahlenausgang 23, der in einen Strahlendurchtritt 24' der Stirnwand 24 mündet. Dem Strahlenausgang 23 gegenüberliegend, also werkstückabgewendet, trägt das Gehäuse 22 ein Strahlenversatzmodul 27. Dieses Modul 27 hat einen ersten Versatzspiegel 28, der im ersten Strahlengang 12 des ersten Laserarbeitsstrahls 13 angeordnet ist, so daß dieser Laserarbeitsstrahl 13 auf den Versatzspiegel 28 trifft und vertikal zum ersten Strahlengang 12 umgelenkt wird. Infolge dieser Umlenkung trifft der erste Laserarbeitsstrahl 13 auf einen zweiten Versatzspiegel 29, mit dem der erste Laserarbeitsstrahl 13 in einen zweiten Strahlengang 14 umgelenkt wird. Durch den zweiten Strahlengang 14 gelangt der erste Laserarbeitsstrahl 13 in das Gehäuse 22 bis zu dessen Strahlenausgang 23.

Der dritte Strahlengang 14 für den zweiten Laserarbeitsstrahl 16 fluchtet mit einem zweiten Strahleneingang 26 des Gehäuses 22. Der zweite Laserarbeitsstrahl 16 trifft auf einen Umlenkspiegel 22, von dem aus er senkrecht zur Längsachse 11 umgelenkt wird und auf eine Reflektorfläche 20' einer Reflektorplatte 20 trifft, welche den zweiten Laserarbeitsstrahl 17 erneut rechtwinklig umlenkt, nämlich in einen vierten Strahlengang 33.

Die Reflektorplatte 20 dient außer der Umlenkung des zweiten Laserarbeitsstrahls 16 auch einem Strahlendurchtritt des ersten Laserarbeitsstrahls 13. Dieser durchläuft auf seinem Weg über den zweiten Strahlengang 40 zum beiden Laserstrahlen 13,16 gemeinsamen Strahlengang 33 zwei in Strahlungsrichtung aufeinanderfolgend angeordnete optische Elemente, nämlich zunächst eine Kompensationsplatte 19 und dann die Reflektorplatte 20. Die Kompensationsplatte 19 hat Brechungseigenschaften, aufgrund der ein Strahlenversatz 17 entsteht.

Die Reflektorplatte 20 hat ebenfalls Brechungseigenschaften, die einen entgegengesetzten, nicht näher bezeichneten Strahlenversatz zur Folge haben. Beide Platten 19,20 sind so ausgebildet und angeordnet, daß die Eingangssymmetrieachse 19 der Kompensationsplatte 19 und die Ausgangssymmetrieachse 20'' der Reflektorplatte 20 fluchten. Infolgedessen wird der Strahlenversatz 17 im Bezug auf eine Strahlenaustrittsstelle 20''' der Reflektorplatte 20 kompensiert. Der Einbau der Kompensationsplatte 19 bewirkt, daß der die Reflektorplatte 20 verlassende Laserarbeitsstrahl 13 genau an einer vorbestimmten Strahlaustrittsstelle 20''' erfolgt. Diese Strahlaustrittsstelle 20''' kann genau mit der Reflektionsstelle zusammenfallen, die zur Reflektion des Laserarbeitsstrahls 16 auf der Reflektorfläche 20' vorbestimmt ist. Es ergibt sich damit die in Fig.4 dargestellte Möglichkeit, die Arbeitsstrahlen 13,16 koaxial anzuwenden, ohne im Bereich der Laserstrahloptik im Hinblick auf einen Strahlenversatz 17 besondere bauliche oder sonstige Justiermaßnahmen durchführen zu müssen. Vielmehr kann die Laseroptik als Baueinheit ausgebildet werden, die mit hoher Präzision wirkt.

30

Das Gehäuse 22 ist mit einem in der Darstellungsebene der Fig.3a ersichtlichen Einbaueinschnitt 30 versehen. Dieser Einbaueinschnitt 30 ist V-förmig und hat einen Spitzenwinkel  $\alpha$ . Dieser Winkel ist vorzugsweise ein rechter. In den Einbaueinschnitt 30 kann ein Elemententräger 31 eingebaut sein, der die beiden Platten 19,20 trägt. Diese beiden Platten 19,20

35

sind ebenfalls in einem rechten Winkel angeordnet, so daß sich ein mechanisch vorteilhafter, nämlich präziser Zusammenbau des Elemententrägers 31 mit dem Einbaueinschnitt 30 des Gehäuses 22 ergibt. Mit diesem Zusammenbau wird dazu beigetragen, daß sich die Brechungseigenschaften der Platten 19,20  
5 möglichst genau kompensieren. Weitere Voraussetzungen dafür sind, daß die Platten 19,20 gleiche Brechungseigenschaften aufweisen, bei gleichem Werkstoff insbesondere gleich dick sind.

10 Damit die Ausgangssymmetrieachse 20'' und die Mitte des auf die Reflektorfläche 20' fallenden zweiten Laserarbeitsstrahls 16 identisch sind bzw. zusammenfallen, muß auch der Umlenkspiegel 21 präzise angeordnet sein. Dies wird dadurch  
15 erreicht, daß der Umlenkspiegel an einer Gehäuseaußenwand 32 festgelegt ist, die einer werkstückseitigen Wand 30' des Einbaueinschnittes 30 parallel ist. Beide Wände 30',32 können exakt parallel hergestellt werden, um den Genauigkeitsanforderungen zu genügen.

20 Die Laserstrahloptik soll möglichst verlustfrei ausgebildet sein. Für die beiden Platten 19,20 wird beispielsweise Zink-Selenid vorgesehen. Außerdem kann mit Beschichtungen erreicht werden, daß die Laserstrahloptik möglichst wenig optische Verluste hat. Beispielsweise kann jede Plattenseite der  
25 Platten 19,20 antireflektierend beschichtet sein. Das gelingt beispielsweise mit einer dielektrischen Schicht, die aus zwei Schichten mit je unterschiedlichem Brechungsindex aus der Reihe der Fluoride  $\text{BaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ , oder  $\text{YbM}_3$  besteht. Die Reflektorfläche 20' der Reflektorplatte 20 muß für die Strahlung  
30 des zweiten Laserarbeitsstrahls 16 hingegen möglichst gut reflektieren, was durch eine hochreflektierende Beschichtung erreicht werden kann. Eine solche Beschichtung wurde mit mehr als fünf Schichten aus den vorgenannten Stoffen erreicht, so  
35 daß sie für  $\text{CO}_2$ -Strahlung antireflektierend, für Nd:YAG-Strahlung hingegen hochreflektierend war.

Der vierte Strahlengang 33, der für beide Laserarbeitsstrahlen 13,16 gemeinsam ist, führt durch die Stirnwand 24 zu der Achse 35. Hier ist ein Umlenkprisma 35'' im Bereich der Schwenkachse 34 mit Abstand 66 zu einer Symmetrieachse eines mit der Handachse 36 drehbaren Fokussierspiegels 41 angeordnet, so daß die Laserarbeitsstrahlen 13,16 zum Fokussierspiegel 41 umgelenkt werden.

Die Fig.4 bis 6 zeigen unterschiedliche Strahlengänge, die mit den Vorrichtungen bzw. Laserrobotern der Fig.1 bis 3 im Hinblick auf die zu lösenden Bearbeitungsaufgaben unterschiedlich ausgebildet werden können. Sie betreffen also die Anwendung von Laserstrahlen 13,16, deren Strahlung unterschiedliche Strahlungsparameter aufweist.

15

In allen Fig.4 bis 6 bedeutet die gepunktete Linie 61, daß die oberhalb dargestellten Bauteile der Roboterachse 10 zuzuordnen sind, während die unterhalb der Linie 61 dargestellten Bauteile in der Roboterhand 35,36 sind, also entweder deren Achse 35 oder deren Achse 36 zuzuordnen sind. Vergleichend ist festzustellen, daß die beiden Laserarbeitsstrahlen 13,16 in der Roboterachse 10 kombiniert werden, so daß sie einen gemeinsamen Strahlengang 33 aufweisen. Dieser Strahlengang 33 führt aus der Roboterachse 10 in die Roboterhand 35,36. Der gemeinsame Strahlengang 33 ist dabei auf die Ausgestaltung der Laseroptik der Roboterachse 10 abgestimmt. Die Fig.4 und 6 zeigen, daß die Laserstrahlen 13,16 gleichachsig kombiniert werden, indem die Strahlaustrittsstelle 20''' mit der Reflektionsstelle des Laserarbeitsstrahls 16 konzentrisch zusammenfällt. Dabei spielt der Rohdurchmesser der Laserstrahlen 13,16 keine Rolle. In Fig.4 ist beispielsweise dargestellt, daß der Laserarbeitsstrahl 16 mit dem Umlenkspiegel 31 optisch aufgeweitet werden kann. Im Vergleich zum Laserstrahl 13 ergibt sich ein größerer Strahldurchmesser, der gemäß Fig.4a an der Bearbeitungsstelle 16 einen vergleichsweise größeren Strahlfleck hat und damit zu einer

Schweißstelle 53 führt. Demgegenüber ist der Laserstrahl 13 sehr stark fokussiert und bildet eine schmale Schneidstelle 52 aus. Das kann insbesondere erreicht werden, wenn als Laser 46 ein relativ leistungsschwacher, aber leichtbauender CO<sub>2</sub>-Sealed-Laser hoher Strahlqualität angewendet wird, der eine sehr schmale Fuge zu schneiden vermag, während ein Leistungsstarker Nd:YAG-Laser dem Schweißen dient. Etwas derartiges läßt sich beispielsweise erreichen, wenn das in Fig.4a aus zwei Schichten 62,63 bestehende Werkstück eine Schicht 62 aus Kunststoff besteht, die die Wellenlänge des Nd:YAG-Lasers nicht absorbiert, so daß die Energie des Nd:YAG-Lasers erst von der darunter liegenden weiteren Schicht 23 absorbiert wird, die beispielsweise aus einer pigmentierten Kunststoffschicht aus einem thermoplastischen Kunststoff oder aus einem thermisch aushärtendem Stoff besteht. Die Schicht 62 könnte auch aus Glas bestehen. Dabei können die Leistungen der Laser auf eine gemeinsame Bearbeitungsgeschwindigkeit optimiert werden.

Fig.5 zeigt eine achsparallele Kombination der beiden Laserstrahlen 13,16 durch die optische Strahlenkombinations-einrichtung, nämlich durch die Reflektorplatte 20. Beide Strahlen 13,16 greifen nicht ineinander, sondern gelangen in der Roboterhand 35,36 mit Hilfe des Umlenkprismas 35'' achsparallel zu dem Fokussierspiegel 41, der beide Strahlen fokussiert, so daß der Fokus beider Laserstrahlen 13,16 jeweils im Bereich der Bearbeitungsstellen 54,55 auf der Oberfläche des Werkstücks liegt. In diesem Fall kann es beispielsweise gelingen, mit dem Laserstrahl 16 des Nd:YAG-Lasers Polypropylen mit Glasfasern zu schweißen, während daneben mit dem Laserstrahl 13 des CO<sub>2</sub>-Lasers geschnitten und dadurch das Werkstück besäumt wird.

Die Bearbeitung von Werkstücken mit den Laserarbeitsstrahlen 13,16 kann während eines Arbeitsgangs gleichzeitig bearbeitet werden. Beide Strahlen 13,16 können also zugleich

oder abwechselnd nacheinander auf das Werkstück einwirken. Auch eine zeitweise Anwendung eines der Laserstrahlen 13 oder 16 ist möglich, während der andere Laserarbeitsstrahl 16 oder 13 kontinuierlich durchwirkt.

5

Für eine Bearbeitung mit zwei Laserarbeitsstrahlen 13,16 ist noch von Bedeutung, welchen Abstand die Strahlen voneinander haben können oder sollen. Bei einer Strahlaufteilung mit einer Reflektorplatte 20 gem. Fig.5 ist der Strahlabstand und damit der Abstand der Bearbeitungsstellen 54,55 voneinander fest vorgegeben. Beide Strahlen 13,16 können so eingesetzt werden, daß mit Hilfe einer doppelwandigen Stickstoffdüse geschnitten wird und nebenan mit der Nd:YAG-Strahlung geschweißt wird. Als Schneiddüse kann auch eine  
15 einfache Düse gewählt werden, deren Abschluß für den Strahl nach oben von einer ZnSe-Platte oder Linse gebildet wird. Mit dieser Anordnung gelang es, zwei 1 mm dicke Rohrteile aus Polypropylen an ihren zusammengedrückten Flanschen miteinander zu verschweißen und gleichzeitig zu besäumen.

20

Demgegenüber zeigt Fig.6 Möglichkeiten, den Strahlabstand 58 einstellbar zu machen. Hierzu ist grundsätzlich eine Strahlentrenneinrichtung erforderlich, die dem Fokussierspiegel 41 nachgeordnet ist, aber auch integraler Bestandteil der  
25 Fokussiereinrichtung sein kann.

In einer ersten Version gelangen beide Laserarbeitsstrahlen 13,16 gleichachsig zu dem Fokussierspiegel 41. Die von diesem fokussierten Strahlen 13,16 treffen auf ein Trennelement in Gestalt einer Trennplatte 56, die für CO<sub>2</sub>-Strahlung durchlässig ist, die jedoch Nd:YAG-Strahlung reflektiert. Infolgedessen durchstrahlt die CO<sub>2</sub>-Strahlung die Trennplatte 56 und gelangt zur Bearbeitungsstelle 55, während die reflektierte Nd:YAG-Strahlung auf eine Umlenkplatte 57 trifft, von  
30 der aus sie achsparallel zur Laserstrahlung 13 im Abstand 58 zur Bearbeitungsstelle 54 gelangt. Entsprechend dem Doppel-  
35



pfeil 57' kann die Umlenkplatte 57 verstellt werden, so daß der Abstand 58 entsprechend einstellbar ist.

Beim Strahlendurchgang der  $\text{CO}_2$ -Strahlung durch die  
5 Trennplatte 56 ergibt sich ein Strahlenversatz 60, der mit  
einem der Trennplatte 56 optisch nachgeordneten Kompensa-  
tionselement 59 beseitigt werden kann. Insoweit und bezüglich  
der Ausbildung, Herstellung und Anordnung der Bauteile 56,59  
gilt das zu der Reflektorplatte 20 und zu der Kompensations-  
10 platte 19 gesagte. Werkstoffe und Beschichtungen lassen sich  
also bedarfsweise für die optischen Aufgaben in gleicher Wei-  
se heranziehen.

Fig.6 zeigt eine Kombination einer Fokussieroptik und  
15 einer Strahlentrenneinrichtung, bei der entsprechend der ge-  
strichelten Darstellung das Bauteil 41 ein planebener Reflek-  
tor ist. Die erforderliche Fokussierung wird erreicht, indem  
die optische Strahlentrenneinrichtung gemäß der gestrichelten  
Darstellung einen Fokussierspiegel 62 aufweist. Dessen Ab-  
20 stand ist entsprechend dem Abstand der Umlenkplatte 57 ein-  
stellbar. Der Laserarbeitsstrahl wird hingegen mit einer Fo-  
kussierlinse 61 fokussiert, die der Strahlentrenneinrichtung  
bzw. insbesondere der Trennplatte 56 nachgeordnet ist.

25 In Fig.6 ist mit 63 eine Drehachse bezeichnet. Sie  
deutet an, daß das Trennelement, nämlich die Trennplatte 56,  
gemeinsam mit der zugehörigen Umlenkplatte 57 gedreht werden  
kann, so daß eine entsprechende Verdrehung einer die Bearbei-  
tungsstellen 54,55 verbindenden Linie bewirkt wird. Mit einer  
30 solchen Verstellung, die auch in Verbindung mit einer Ver-  
stellung des Abstands der Laserstrahlen 13,16 kombiniert wer-  
den kann, lassen sich Bearbeitungsaufgaben variabel durchfüh-  
ren. Beispielsweise kann der Laserstrahl 13 einem Verschweis-  
sen dienen, während der Laserstrahl 16 gleichzeitig einen  
35 Rand des Werkstücks besäumt. Das kann beispielsweise einge-  
setzt werden um Metallhalbschalen gleichzeitig gesteuert mit-  
einander zu verschweißen und deren Ränder zu besäumen.

Patentansprüche

5

1. Laserroboter für Werkstückbearbeitung, mit einer ersten Roboterachse (10), in deren Längsachse (11) ein erster Strahlengang (12) eines ersten Laserstrahls (13) anzuordnen ist, der werkstückseitig in einen achsparallelen zweiten Strahlengang (14) umlenkbar ist, und in der ein dritter Strahlengang (15) eines zweiten Laserstrahls (16) achsparallel zum ersten Strahlengang (12) des ersten Laserstrahls (13) anzuordnen ist, und mit einer Fokussieroptik, die in einer der ersten Roboterachse (10) nachgeordneten Roboterhand (35,36) angeordnet ist und von der die Laserstrahlen (13,16) auf das Werkstück (18) gelangen, **dadurch gekennzeichnet**, daß in einem der Strahlengänge (12 oder 14) des ersten Laserstrahls (13) eine optische Strahlenkombinationseinrichtung beider gleichzeitig wirksamer Laserstrahlen (13,16) angeordnet ist, von der aus beide Laserstrahlen (13,16) gleichzeitig achsparallel oder gleichachsig in die Roboterhand (35,36) zu der Fokussieroptik gelangen können, und daß beide Laserstrahlen (13,16) gleichzeitig achsparallel, gleichachsig oder mittels einer gleichachsigen Laserstrahlen (13,16) in achsparallele Laserstrahlen trennenden optischen Strahlentrenneinrichtung auf das Werkstück (18) gelangen.

30

2. Laserroboter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der zweite Strahlengang (14) und ein Ausgang der Strahlenkombinationsoptik beginnender vierter, beiden Laserstrahlen (13,16) gemeinsamer Strahlengang (33) in einer von der Längsachse (11) der Roboterachse (10) und von einer dazu senkrechten Schwenkachse (34) einer weiteren Roboterachse (35) der Roboterhand (35,36) gebilde-

35

ten Ebene mit einem vorbestimmten Abstand vom ersten Strahlengang (12) angeordnet sind.

3. Laserroboter nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die weitere Roboterachse (35) einen mit ihrer Schwenkachse (34) gleichachsigen Spiegel (35'') hat, mit dem die beiden Laserstrahlen (13,16) gleichzeitig der Fokussieroptik zuzuleiten sind, der die Strahlentrenneinrichtung nachgeordnet ist.  
5
4. Laserroboter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Fokussieroptik gleichachsig mit der Längsachse (11) der ersten Roboterachse (10) in der weiteren Roboterachse (35) oder in einer Drehachse (36) der weiteren Roboterachse (35) angeordnet ist.  
10  
15
5. Laserroboter nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die optische Strahlentrenneinrichtung ein Trennelement hat, das von der Laserstrahlung eines der Laserstrahlen (13 oder 16) durchstrahlbar ist und das die Laserstrahlung des anderen der Laserstrahlen (16 oder 13) reflektiert.  
20
6. Laserroboter nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Trennelement eine im Winkel zu den Laserstrahlen angeordnete Trennplatte (56) ist.  
25
7. Laserroboter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß dem Trennelement eine Umlenkplatte (57) optisch nachgeordnet ist, von der aus ein abgetrennter Laserstrahl (16) dem Werkstück (18) zuleitbar ist.  
30
8. Laserroboter nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Umlenkplatte (57) einstellbaren Abstand (58) zum Trennelement aufweist und/oder daß  
35

das Trennelement gemeinsam mit der Umlenkplatte (57) um eine von einer optisch vorgeordneten Fokussieroptik bestimmte Drehachse (63) drehbar ist.

- 5    9.    Laserroboter nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß dem Trennelement ein Kompensationselement (59) optisch zugeordnet ist, und daß diese beiden Elemente im Sinne einer Kompensation eines Strahlenversatzes (60) aufeinander abgestimmt sind.
- 10
10.    Laserroboter nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die optische Strahlentrenneinrichtung der Fokussieroptik optisch vorgeordnet ist, die für einen der Strahlen (13 oder 16) eine Fokussierlinse (61) und für den anderen einen Fokussierspiegel (62) aufweist.
- 15
11.    Laserroboter nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Fokussierspiegel (62) zugleich ein Umlenkteil der Strahlentrenneinrichtung ist.
- 20
12.    Laserroboter nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß beide Laserstrahlen (13,16) Laserarbeitsstrahlen mit unterschiedlichen Strahlungsparametern sind.
- 25
13.    Verfahren zur Werkstückbearbeitung mit einem Laserroboter, dem in einer ersten Roboterachse (10) ein erster Strahlengang (12) eines ersten Laserarbeitsstrahls (13) erster Strahlungsparameter ausgebildet wird, und mit dem ein dem ersten Strahlengang (12) achsparalleler zweiter Laserarbeitsstrahl (16) zweiter Strahlungsparameter anwendbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß beide Laserarbeitsstrahlen (13,16) in der Roboterachse (10) zu einem gemeinsamen Strahlengang (33) gleichachsig oder achsparallel kombiniert werden, und daß die kombinierten
- 30
- 35

Laserarbeitsstrahlen (13,16) das Werkstück (18) an derselben oder an voneinander beabstandeten Bearbeitungsstellen (54,55) unter Anwendung der unterschiedlichen Strahlungsparameter in einem Arbeitsgang gleichzeitig bearbeiten.

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden Laserarbeitsstrahlen (13,16) gemeinsam fokussiert werden.
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden Laserarbeitsstrahlen (13,16) in einer der ersten Roboterachse (10) nachgeordneten Roboterhand (35,36) voneinander getrennt werden.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Abstand (58') zweier voneinander getrennter Laserarbeitsstrahlen (13,16) dem jeweils erforderlichen Abstand der Bearbeitungsstellen (54,55) entsprechend einstellbar ist.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß Laserarbeitsstrahlen (13,16) mit Laserstrahlung unterschiedlicher Wellenlänge angewendet werden.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Laserarbeitsstrahl (16) eines Nd:YAG-Lasers und mit Abstand (58') dazu gleichzeitig ein Laserarbeitsstrahl (13) eines CO<sub>2</sub>-Lasers angewendet wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwei Laserarbeitsstrahlen (13,16) mit Laserstrahlung unterschiedlicher Wellenlängen an derselben Bearbeitungsstelle (60) in einem Arbeitsgang nacheinander und/oder ineinander schneiden und schweißen.

Zusammenfassung

5

Laserroboter für Werkstückbearbeitung, mit einer ersten Roboterachse, in deren Längsachse ein erster Strahlengang eines ersten Laserstrahls anzuordnen ist, der werkstückseitig in einen achsparallelen zweiten Strahlengang umlenkbar ist, und in der ein dritter Strahlengang eines zweiten Laserstrahls achsparallel zum ersten Strahlengang des ersten Laserstrahls anzuordnen ist, und mit einer Fokussieroptik, die in einer der ersten Roboterachse nachgeordneten Roboterhand angeordnet ist und von der die Laserstrahlen auf das Werkstück gelangen.

Damit mit zwei Laserstrahlen gleichzeitig gearbeitet werden kann, wird der Laserroboter so ausgebildet, daß in einem der Strahlengänge des ersten Laserstrahls eine optische Strahlenkombinationseinrichtung beider gleichzeitig wirksamer Laserstrahlen angeordnet ist, von der aus beide Laserstrahlen gleichzeitig achsparallel oder gleichachsig in die Roboterhand zu der Fokussieroptik gelangen, und daß beide Laserstrahlen gleichzeitig achsparallel, gleichachsig oder mittels einer gleichachstige Laserstrahlen in achsparallele Laserstrahlen trennenden optischen Strahlentrenneinrichtung auf das Werkstück gelangen.

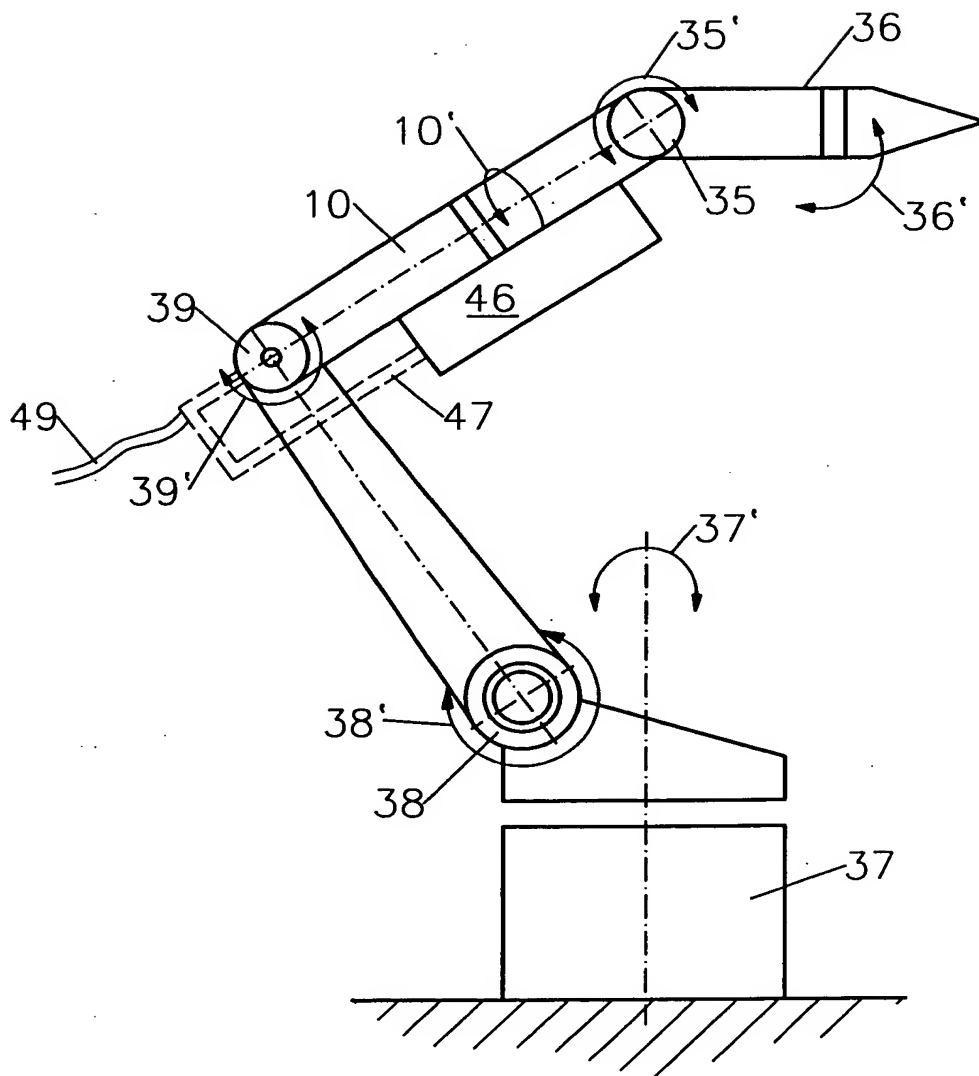


Fig.1

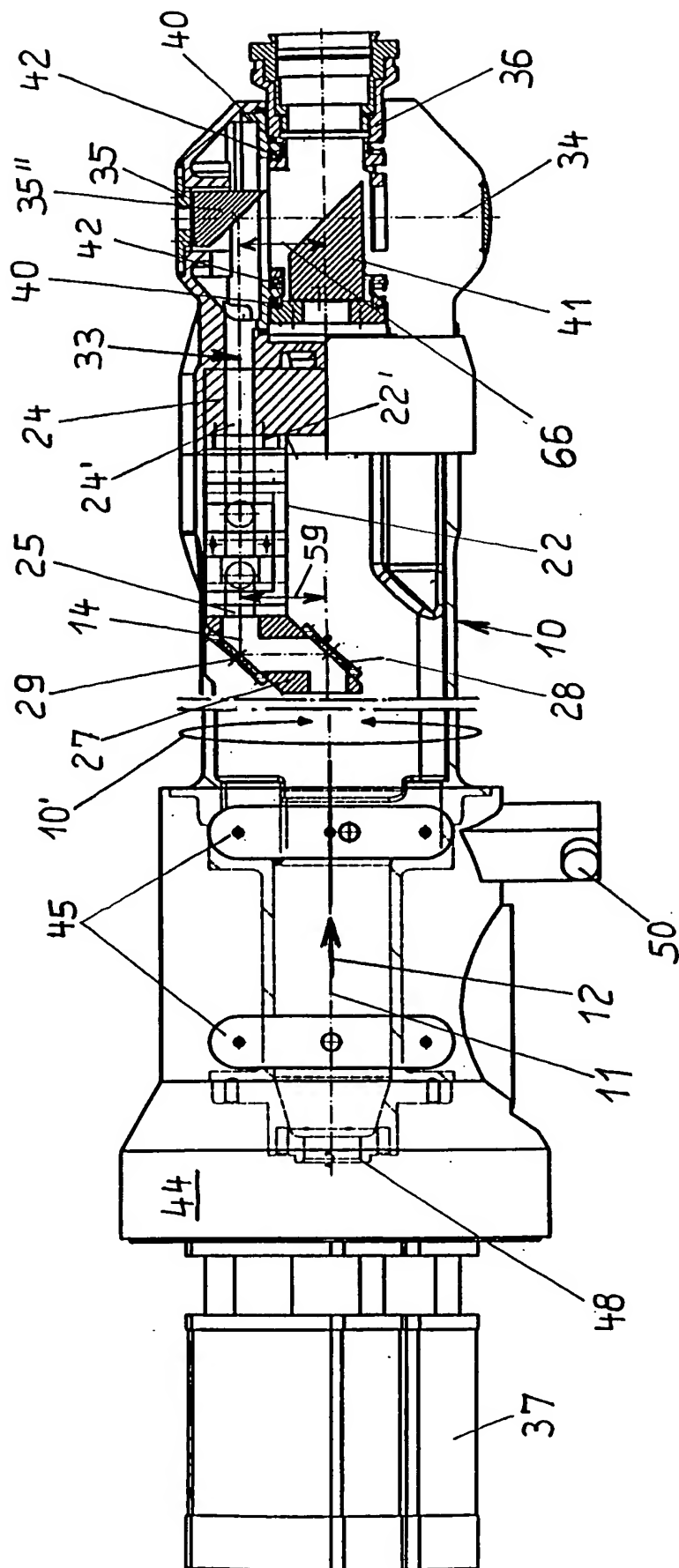


Fig. 2



Fig. 3a

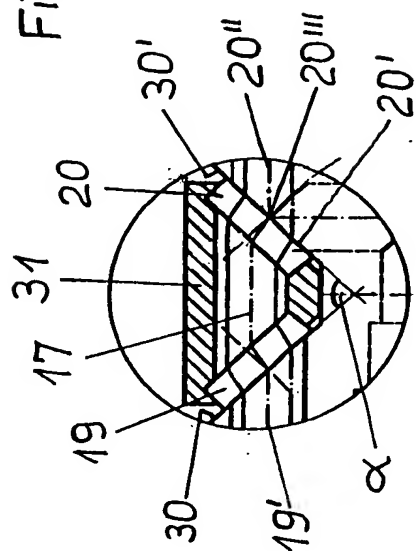
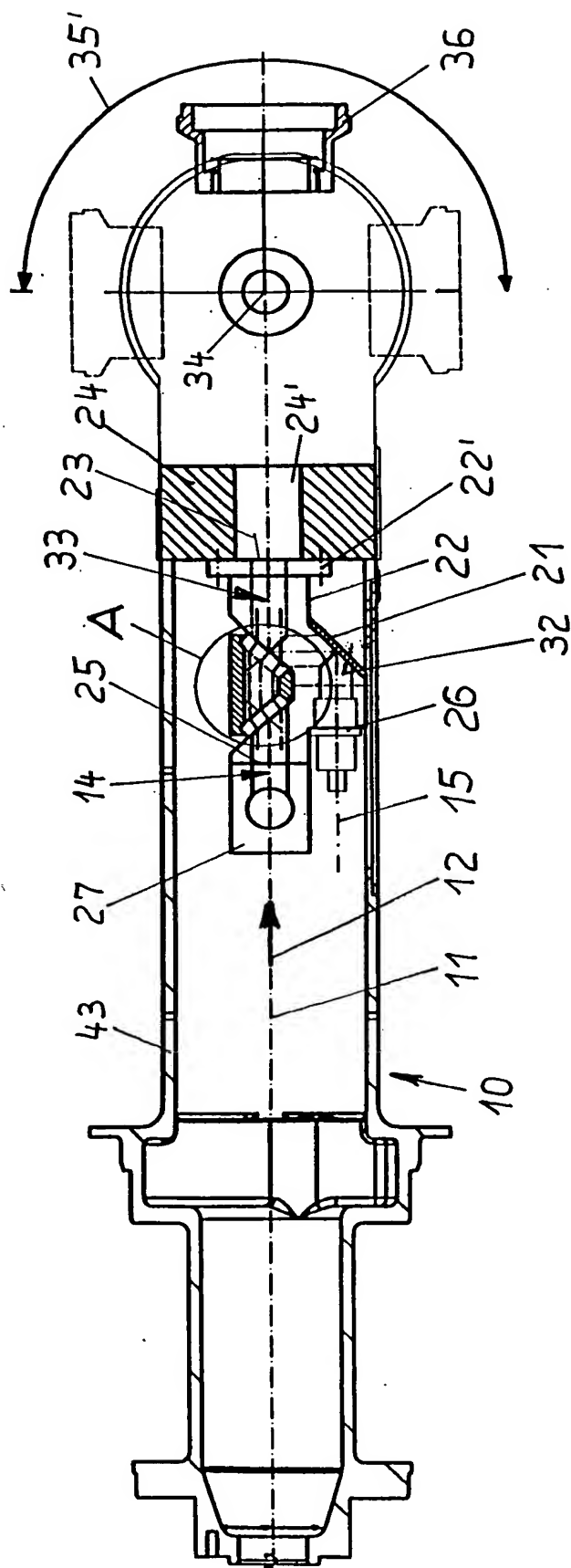
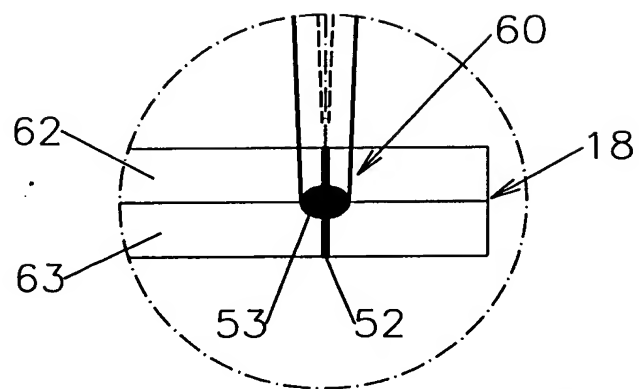
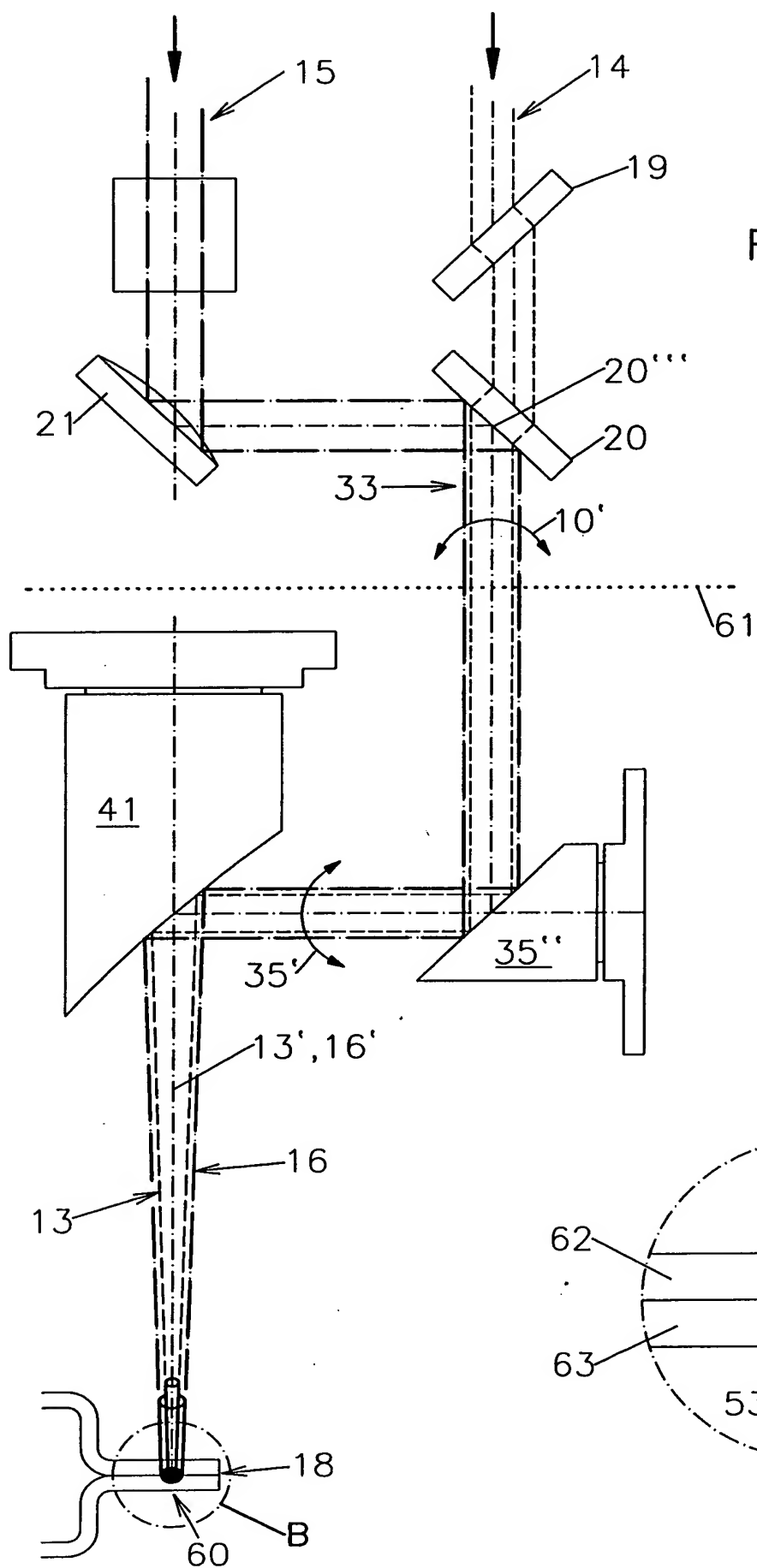
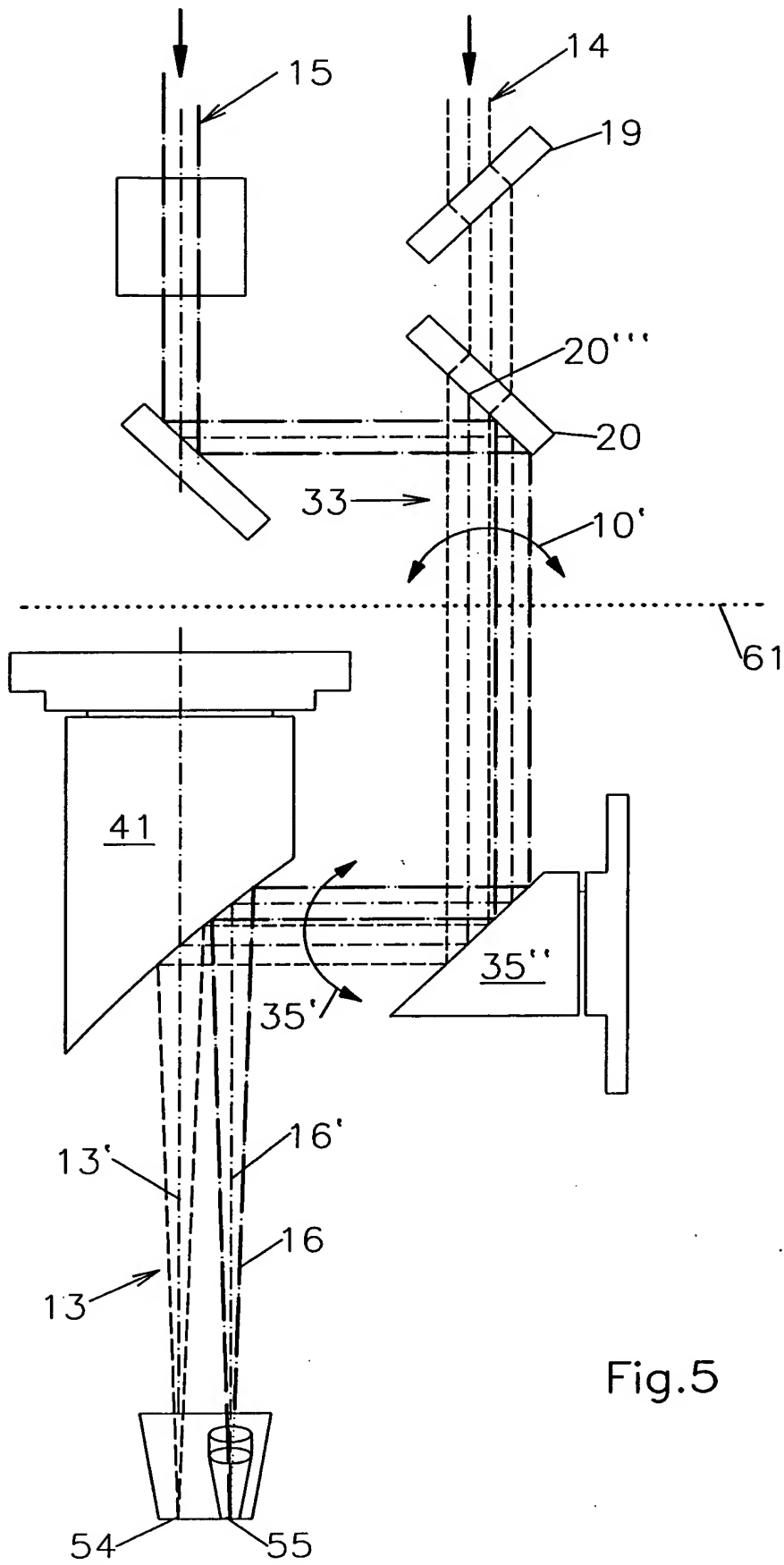


Fig. 3







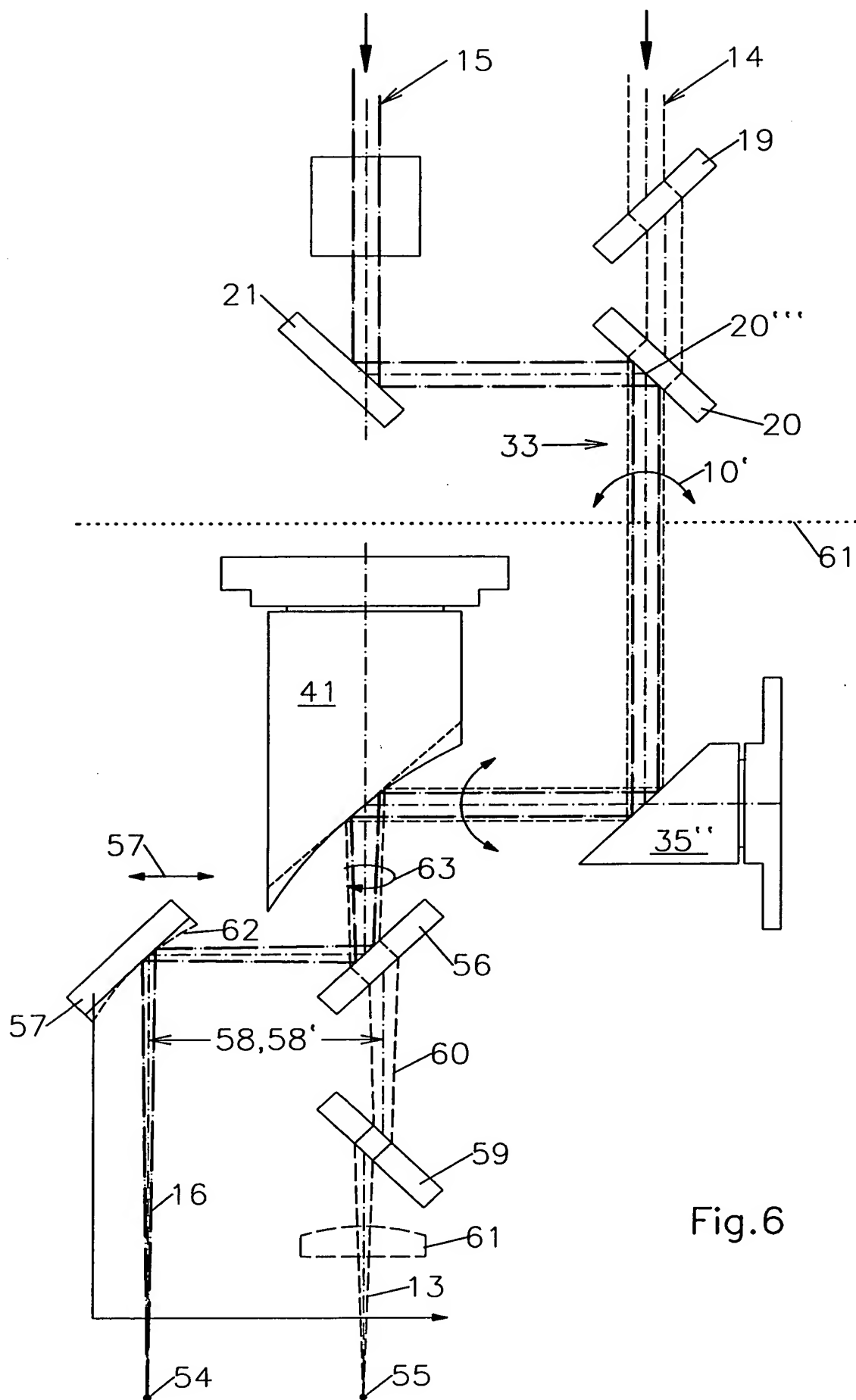


Fig.6